Lane Medical Library

Aus der Fliegeruntersuchungsstelle
des W. G. Kerckhoff-Instituts zu Bad-Nauheim
(Leiter: Prof. Dr. Eb. Koch)

Über das Verhalten der Herzschlagzahl und des Blutdruckes bei längerem Aufenthalt in vermindertem Luftdruck

Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
bei der medizinischen Fakultät
der Hessischen Ludwigs-Universität
zu Gießen

vorgelegt von
Karl Kerckhoff
Medizinalpraktikant aus Cloppenburg i. O.

Gießen 1936

Ausgeführt mit Mitteln der W. G. Kerckhoff-Stiftung

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät Gießen
Referent: Prof. Dr. Eb. Koch

von Münchowsche Universitäts-Druckerei Otto Kindt GmbH. in Gießen

Frau Louise E. Kerckhoff
und
ihrem verstorbenen Gatten William G. Kerckhoff
in Dankbarkeit
gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154009_0142

Über die Wirkung des verminderten Luftdruckes auf den menschlichen Kreislauf besteht eine umfangreiche Literatur. Da diese kürzlich in einer Arbeit von W. Schwarz[1] ziemlich ausführlich wiedergegeben ist, kann an dieser Stelle darauf verzichtet werden. Fliegertauglichkeitsprüfungen pflegen so ausgeführt zu werden, daß der Luftdruck in einer Unterdruckkammer ziemlich schnell erniedrigt wird, bis sich bei der Versuchsperson deutliche Zeichen von Höhenkrankheit einstellen oder es zu einem Kreislaufkollaps kommt. Bei dieser Art des Vorgehens wird aber nicht die Fähigkeit erfaßt, mit der sich der Organismus bei längerem Aufenthalt in größeren Höhen umzustellen vermag. Um diese Lücke auszufüllen, wurden Versuche in der Unterdruckkammer gemacht, wobei Nennhöhen von 4000 m, 5000 m, 6000 m eine Stunde lang beibehalten wurden. Dabei wurden außer dem Allgemeinverhalten Herzschlagzahl und Blutdruck beobachtet. Hierüber liegen bis jetzt noch keine planmäßigen Untersuchungen vor, die für die Fliegertauglichkeitsprüfung mitverwandt werden könnten. Besonders beachtet wurden auch die Puls- und Blutdruckveränderungen bei der Rückkehr zum normalen Barometerstand, die, wie Besserer[2] in der hiesigen Fliegeruntersuchungsstelle zeigen konnte, neue Anhaltspunkte für die Höhentauglichkeit liefern und Aufschluß geben über die Erholungsfähigkeit von den Einwirkungen des Unterdrucks.

Versuchsanordnung:

Alle Versuche wurden in der Unterdruckkammer des Kerckhoff-Instituts vorgenommen. Bei den vierzig Versuchspersonen handelte es sich um Fliegeranwärter im Alter von 18 bis 26 Jahren,

von denen keiner auf große Höhen trainiert war. Für den einstündigen Aufenthalt wurden drei verschiedene Höhenstufen gewählt und zwar:

Versuchsreihe	I	4000 m	Nennhöhe	(10 Versuche)
„	II	5000 m	„	(10 „)
„	III	6000 m	„	(20 „).

Die Verminderung des Luftdruckes wurde gleichmäßig schnell durchgeführt und zwar wurde 4000 m in 18 Minuten, 5000 m in 22 Minuten, 6000 m in 28 Minuten erreicht; die entsprechenden Abstiegszeiten betrugen 18, 24 und 30 Minuten. Bei jedem Versuch wurde ein Barogramm mittels eines nach der Internationalen Normalatmosphäre geeichten Höhenschreibers mitgeschrieben. Die Versuchsperson hielt sich schon längere Zeit vor Beginn des Aufstieges in halbliegender Stellung in der Unterdruckkammer auf, um eine Beeinträchtigung der Ruhewerte von Herzschlag und Blutdruck durch vorausgegangene körperliche Anstrengung zu verhindern. Auch während der ganzen Versuchsdauer verblieben die Versuchspersonen zur Vermeidung orthostatischer Einflüsse (Mateef, D. u. W. Schwarz[3]) in dieser halbliegenden Stellung. Durch Aufklärung über den Versuch wurden die Prüflinge psychisch beruhigt. Um die Erscheinungen der Hypoxämie bei dem Untersucher zu vermeiden, wurde von 4000 m Nennhöhe ab aus einem Auer-Gerät Sauerstoff geatmet. Nachdem vor Beginn des Versuches mehrmals Ruhewerte von Herzschlagzahl und Blutdruck ermittelt und ein Elektrokardiogramm aufgenommen worden war, begann der Aufstieg. Während des ganzen Versuches wurde in regelmäßigen Zeitabständen die Pulsfrequenz eine Minute lang gezählt und alle 10 Minuten ein Ekg. gemacht. Der Blutdruck wurde auskultatorisch alle 3 Minuten nach Riva-Rocci gemessen. Beim Abstieg wurde alle 1000 m angehalten und die oben genannten Messungen durchgeführt. Über alle körperlichen und psychischen Veränderungen der Versuchspersonen wurde genau Protokoll geführt.

Das Verhalten der Herzschlagzahl

Die Herzschlagzahl steigt bei abnehmendem Luftdruck zunächst allmählich, dann immer steiler an (Borgard[4], Loewy[5]). Bei mehreren Versuchspersonen wurde jedoch anfangs eine Pulsfrequenzabnahme beobachtet. Opitz und Tilmann[6] sahen das gleiche Verhalten bei Tieren, wenn diese ohne Narkose in der Unterdruckkammer eine deutliche Unruhe zeigten. Es ist anzunehmen, daß bei den Personen mit initialer Pulsfrequenzabnahme die Ruhepulswerte durch psychische Einflüsse erhöht waren.

Wenn nun in gleicher Höhe eine Stunde lang verweilt wurde, stieg die Herzschlagzahl in allen Versuchen zunächst noch weiter an (Schneider[7]). Sie erreichte dann in wechselnd langer Zeit ein Maximum; auf diesem blieb sie aber nicht dauernd, sondern sank anfangs schneller, dann langsamer ab unter den Wert, den sie bei Erreichen der betreffenden Höhe gehabt hatte.

Während der Rückkehr zum Normaldruck nahm die Pulsfrequenz wieder ab. Unmittelbar nach Erreichen der Nullhöhe lag sie meist unter dem Ausgangswert und zwar war die Differenz um so größer, je besser die betreffende Versuchsperson den Höhenaufenthalt vertragen hatte.

Das durchschnittliche Verhalten der Herzschlagzahl bei einstündigem Aufenthalt in verschiedenen Höhenstufen ist in Abb. 1 wiedergegeben. Die Kurven wurden von solchen Personen der einzelnen Versuchsreihen ermittelt, die annähernd gleiche Ruhepulswerte und ein normales Verhalten bei den Unterdruckkammerversuchen gezeigt hatten.

Die Ruhefrequenz von vier Versuchspersonen bei den Aufstiegen auf 4000 m Nennhöhe war 65,5 p. M. Bei Erreichen der Höhe betrug sie 75,5 p. M. Beim Verweilen in dieser Höhe stieg sie nach 4 Minuten weiter an auf die Höchstfrequenz von 79 Schlägen. Gegenüber dem Ausgangswert bedeutet dies eine Zunahme von 14,5 Schlägen (=20,6%). Die Pulszahl nahm dann allmählich wieder ab und betrug am Ende des einstündigen Aufenthaltes 72 p. M. Nach Rückkehr zum Normaldruck war sie

auf 60,5 p. M. abgesunken und lag um 5 Schläge tiefer als der Ausgangswert.

Bei Aufenthalt in 5000 m Nennhöhe (sechs Versuchspersonen) war die Herzschlagzahl unmittelbar nach Erreichen dieser Höhe von einer Ruhefrequenz von 66,7 p. M. auf 83,5 p. M. angestiegen. Die Höchstfrequenz mit 86 Schlägen wurde aber erst nach 13 Minuten erreicht. Die Zunahme gegenüber dem Ausgangswert betrug 34%. Nach einstündigem Aufenthalt fiel die Pulszahl auf 79 ab. Nach dem Abstieg betrug sie noch 62,9 Schläge.

Die Ausgangsfrequenz von vier Personen bei den Aufstiegen auf 6000 m Nennhöhe war 65,5 p. M. Nach Ankunft auf dieser Höhe betrug die Herzschlagzahl 88 p. M. Der Höchstwert wurde auch hier erst in der 22. Minute erreicht und betrug 96 p. M. Die Zunahme gegenüber dem Ausgangswert war 47,6%. Nach einer Stunde war die Herzschlagzahl auf 84 gesunken und nach Rückkehr zum Normaldruck zählte sie noch 62,4 Schläge.

Auf Grund dieser Befunde ergibt sich folgendes Verhalten der Herzschlagzahl:

1. Bei Aufenthalt in gleicher Höhe nimmt die Herzschlagzahl zunächst weiter zu, erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder ab.
2. Dieses Maximum tritt mit zunehmender Höhe mit einer immer größer werdenden zeitlichen Verzögerung auf.
3. Unmittelbar nach Rückkehr zur Nullhöhe liegt die Herzschlagzahl unter dem Ausgangswert.

Hervorzuheben ist noch, daß die Differenz zwischen den Werten bei Beginn und bei Schluß des Versuches um so größer war, je besser die Versuchsperson den Höhenaufenthalt vertragen hatte.

Das Verhalten des Blutdruckes

Bei den Unterdruckkammerversuchen in 4000 m und 5000 m Nennhöhe zeigte der Blutdruck nur geringe Veränderungen. Regelmäßig kam es zu einer Vergrößerung der Blutdruckamplitude kurze Zeit nach Erreichen der Höhe, die durch Ansteigen des systolischen und Absinken des diastolischen Druckes bedingt

war. Gegen Ende des einstündigen Aufenthaltes in gleicher Höhe nahm der systolische Druck allmählich ab, während der diastolische langsam wieder anzusteigen pflegte. Die Amplitude wurde also wieder kleiner. Gleich nach dem Abstieg hatte der diastolische Druck meist den Ausgangswert wieder erreicht. Der systolische Druck dagegen war dann noch nicht auf den Anfangswert zurückgekehrt.

Bei den Versuchen in 6000 m Nennhöhe waren die durch den Sauerstoffmangel hervorgerufenen Blutdruckveränderungen wesentlich stärker. Der einstündige Aufenthalt in dieser Höhe erwies sich für die halbliegende Körperstellung als zweckmäßig, um ein Urteil über die Fähigkeit der Höhenumstellung des Prüflings zu gewinnen. Zwei ausgesuchte Versuchsbeispiele mögen genügen, um einen Begriff von der Art dieser Höhentauglichkeitsprüfung zu geben.

In Abb. 2a ist die Blutdruck- und Pulzfrequenzkurve eines 23jährigen Fliegeranwärters wiedergegeben, bei dem die internistische Untersuchung nichts Abnormes ergeben hatte. Der Ausgangsblutdruck war 125/85 mm Hg; die Pulzfrequenz 60 p. M. Gleich nach Ankunft auf 6000 m Nennhöhe war die Pulsfrequenz auf 80 p. M., der systolische Druck um 10 mm Hg angestiegen, während der diastolische Druck um 5 mm Hg gesunken war. Das Allgemeinbefinden der Versuchsperson war unverändert. Erst in den letzten Minuten des Aufstiegs war eine geringe Cyanose sichtbar geworden.

Beim Verweilen in gleicher Höhe waren in diesem Falle hinsichtlich des Verhaltens von Pulsfrequenz und Blutdruck 2 Phasen zu unterscheiden: In der ersten Hälfte des Aufenthaltes stieg die Herzschlagzahl weiter an und erreichte in der 34. Minute ihr Maximum von 92 Schlägen. Der diastolische Druck war inzwischen langsam auf 55 mm Hg abgesunken, wärend der systolische Druck wieder den Ausgangswert erreicht hatte. Die Cyanose und das Müdigkeitsgefühl waren immer stärker geworden. Im weiteren Verlauf des Versuchs kam es jedoch zu einer Rückbildung der eingetretenen Kreislaufveränderungen; gleichzeitig besserte sich das Allgemeinbefinden der Versuchsperson wesentlich. Dabei

sank die Pulsfrequenz allmählich wieder auf den Wert ab, den sie bei Ankunft auf der Höhe hatte, während der diastolische auf 70 mm Hg anstieg. Der systolische Druck stellte sich auf einen Wert von 120 mm Hg ein. Der Abnahme der erhöhten Herzschlagzahl und dem Wiederanstieg des diastolischen Druckes entsprach ein Geringerwerden der Cyanose.

Während des Abstiegs nahm der diastolische Druck weiter zu. Der systolische Druck sank zunächst weiter ab und stieg nach Rückkehr zur Nullhöhe wieder an. Die Herzschlagzahl verringerte sich immer mehr und betrug am Ende des Versuchs noch 50 p. M., wobei eine starke respiratorische Arrhythmie auftrat.

Diese Versuchsperson ertrug den Aufenthalt in der Höhe, ohne höhenkrank zu werden und zeigte eine gute Umstellungsfähigkeit des Kreislaufs.

Ein ganz anderes Verhalten zeigte ein 22jähriger Fliegeranwärter, dessen Ruhepuls 65 p. M. und dessen Blutdruck 110/75 mm Hg betrug. (s. Abb. 2 b.).

Beim Erreichen der Höhe war die Pulsfrequenz auf 86 p. M. angestiegen. Der diastolische Druck war auf 50 mm Hg abgesunken, der systolische dagegen auf 115 mm Hg angestiegen. Schon während des Aufstiegs wurde die Versuchsperson blaß, cyanotisch und schläfrig.

Beim einstündigen Verweilen in 6000 m Nennhöhe stiegen Pulsfrequenz und systolischer Blutdruck immer weiter an. Nach 30 Minuten war der diastolische Druck bereits auf 30 mm Hg abgesunken und stieg auch im weiteren Verlauf des Versuchs nicht wieder an. Dementsprechend war auch das Allgemeinbefinden des Prüflings schlecht. In der 32. Minute kam es zu feinschlägigem Zittern der Hände und in der 45. Minute setzte CHEYNE-STOKE'sches Atmen ein. Das Sprechen wurde mühsam und verwaschen.

Nach dem Abstieg stellte sich der Blutdruck wieder auf den Anfangswert ein, während die Pulsfrequenz noch über dem Ausgangswert lag.

Im Gegensatz zu dem ersten Fall traten bei dieser Person deutliche Zeichen von Höhenkrankheit auf. Die Kreislaufveränderungen gingen dauernd weiter, eine Umstellung trat nicht ein.

Diese beiden Beispiele zeigen, daß erst bei längerem Aufenthalte in der Höhe Unterschiede zum Vorschein kommen, die kaum oder gar nicht erfaßt werden, wenn man nach dem Erreichen der Höhe sofort wieder absteigt. So konnte beobachtet werden, daß einerseits ein zu Beginn drohender Kollapszustand sich wieder gut erholte, andererseits aber ein anfangs anscheinend guter Zustand immer schlechter wurde.

Besonderheiten bei den 6000 m-Versuchen

1. Erhöhte Ausgangswerte des Blutdrucks

In drei Fällen lag ein erhöhter Ausgangsblutdruck vor: Nr. 15 150/75 mm Hg; Nr. 16 160/95 mm Hg; Nr. 20 160/90 mm Hg. Die beiden ersten Versuche zeigten gleiches Verhalten: Der systolische Druck stieg in der Höhe an, fiel aber beim Aufenthalt in gleicher Höhe nicht unter den Ausgangswert ab. Der diastolische Druck sank dauernd weiter ab, und die Herzschlagzahl nahm immer mehr zu. Die Umstellung des Kreislaufs blieb also aus.

In Versuch 20 dagegen fiel der Blutdruck beim Aufenthalt in 6000 m Höhe zunächst auf 120/50 mm Hg ab. Nach einiger Zeit stieg der diastolische Druck aber wieder an und die Pulsfrequenz verringerte sich.

Diese Beobachtungen führen in Verbindung mit den Befunden der übrigen Versuche zu dem Ergebnis, daß das Wiederansteigen des diastolischen Druckes und die Abnahme der Pulsfrequenz als Zeichen einer Umstellung des Kreislaufs in der Regel mit einer Abnahme des systolischen Druckes einhergehen.

2. Praekollaps mit periodischem Wechsel des Allgemeinbefindens

In Versuch Nr. 6 kam es einige Minuten nach Erreichen der Höhe zu einem Praekollaps. Ohne vorhergehende Zeichen von Höhenkrankheit sank der systolische und diastolische Blutdruck plötz-

lich ab. Die Versuchsperson wurde dabei sehr blaß und schläfrig. Dieser Zustand dauerte etwa 10 Minuten. Dann stieg der Blutdruck wieder an und das Allgemeinbefinden besserte sich. Nach weiteren 10 Minuten verschlechterte sich das Befinden wieder; es trat erneut Cyanose auf und der Blutdruck sank wieder ab. Gegen Ende des Aufenthalts in der Höhe stieg der Blutdruck wieder an, wobei die Cyanose geringer wurde.

Auffallend war bei dieser Person der periodische Wechsel des Allgemeinzustandes, der mit Blutdruckabfall beziehungsweise -anstieg einherging.

3. Bemerkenswert ist schließlich, daß bei drei Personen im Unterdruck ein starker Harndrang auftrat, der ein deutliches Ansteigen des systolischen Druckes und der Pulsfrequenz hervorrief.

Rückblick:

Auf Grund der bei einem einstündigen Aufenthalt in 6000 m Nennhöhe gewonnenen Blutdruck- und Pulsfrequenzänderungen, lassen sich die zwanzig Personen dieser Versuchsreihe in zwei Gruppen einteilen:

Gruppe I (13 Versuche)

Der diastolische Blutdruck sinkt bei diesen Personen nach Erreichen der Höhe nur wenig ab, erreicht seinen niedrigsten Wert erst nach einiger Zeit und steigt dann wieder an. Der systolische Druck steigt nach Erreichen der Höhe an, fällt aber bei längerem Verweilen in gleicher Höhe unter den Ausgangswert ab. Die Herzschlagzahl erreicht dann ihr Maximum, wenn der diastolische Druck sich auf seinen niedrigsten Wert eingestellt hat. Mit dem Wiederansteigen des diastolischen Druckes geht eine Pulsfrequenzabnahme einher.

Personen dieser Gruppe vertragen den Höhenaufenthalt gut. Das beobachtete Verhalten spricht für eine gute Fähigkeit des Kreislaufes, sich auf die veränderten Bedingungen umzustellen.

Gruppe II (7 Versuche)

Unmittelbar oder kurze Zeit nach Erreichen der Höhe fällt der diastolische Blutdruck entweder gleich stark ab, oder aber es kommt zu einem langsamen, aber stetigen Absinken. Der systolische Druck steigt zunächst etwas an. Beim Verweilen in gleicher Höhe fällt er wieder ab, geht dabei aber nicht unter den Ausgangswert zurück. Die Pulsfrequenz steigt immer weiter an.

Die Personen dieser Gruppe zeigen keine oder nur geringe Umstellungserscheinungen des Kreislaufs. Dazu gesellen sich regelmäßig deutliche Zeichen von Höhenkrankheit wie Blässe, Tremor, Sprachstörungen und Nachlassen der geistigen Leistungen.

Zusammenfassung

1. Es wurden 40 Unterdruckkammerversuche mit einstündigem Aufenthalt in 4000, 5000 und 6000 m Nennhöhe durchgeführt, und das Verhalten der Herzschlagzahl in Durchschnittskurven dargestellt.
2. Als Fliegertauglichkeitsprüfung in der Unterdruckkammer erwies sich der einstündige Aufenthalt in 6000 m Nennhöhe als besonders geeignet, um nicht nur die augenblickliche Höhenfestigkeit des Prüflings, sondern auch seine Fähigkeit zur Höhenumstellung des Kreislaufs zu beurteilen.

Zum Schlusse meiner Arbeit danke ich Herrn Professor Dr. Eb. Koch, Leiter der Fliegeruntersuchungsstelle zu Bad-Nauheim, für die Anregung und die mir freundlichst gewährte Unterstützung bei meinen Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

1. Schwarz, W.: Luftfahrtmedizin 1, S. 82 (1936).
2. Besserer, G.: Noch unveröffentlichte Arbeit.
3. Mateef, D. u. W. Schwarz: Pflügers Archiv 236, H. 1 (1935).
4. Borgard, W.: Klin. Wschr. 1934 S. 1642.
5. Loewy, A.: Physiologie des Höhenklimas, Berlin 1932, S. 140.
6. Opitz, E. u. O. Tilmann: Luftfahrtmedizin 1, S. 78 (1936).
7. Schneider, E. C.: Amer. J. of Physiol. 50, S. 302 (1919).

Lebenslauf

Am 6. Juni 1911 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Friedrich Kerckhoff und seiner Ehefrau Amalie, geb. Werner, zu Cloppenburg in Oldenburg geboren. Drei Jahre besuchte ich die Volksschule und trat im Jahre 1921 in die Sexta des Realgymnasiums Cloppenburg ein. Im Februar 1930 erhielt ich dort das Reifezeugnis. Danach widmete ich mich dem Studium der Medizin und studierte zunächst drei Semester in Freiburg i. Br. und zwei Semester in Münster, wo ich am 1. August 1932 die ärztliche Vorprüfung bestand. Die klinischen Semester verbrachte ich in Berlin und Köln. Am 19. Dezember 1935 bestand ich in Köln das ärztliche Staatsexamen. Vier Monate des praktischen Jahres war ich in der medizinischen Universitätsklinik Köln-Lindenburg beschäftigt. Ich erhielt dann ein halbjähriges Stipendium der William G. Kerckhoff-Stiftung und war bis zum 1. Dezember 1936 im Kerckhoff-Institut zu Bad-Nauheim tätig.

Karl Kerckhoff